

Ю. А. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПОДГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КАЧЕСТВО ПЕРФОРИРОВАННЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Применение гнутых перфорированных профилей в различных отраслях промышленности позволяет снизить расход металла на 18–20%, ускорить сборку и монтаж конструкций, устранить сварочные работы при монтаже, уменьшить трудоемкость монтажных работ. Результаты проведенных исследований показали, что с увеличением толщины подгибаемых полок величина деформирования отверстий возрастает. Так, при толщине полок 2 мм относительное удлинение отверстий составляло 0,07%, сужение – 0,21%, при толщине металла 5 мм деформирование отверстий составляло 0,8% и 0,63%, соответственно. Искажение формы отверстий увеличивается с возрастанием углов подгибки, толщины металла, уменьшением ширины подгибаемых полок и величины перемычки между отверстиями. Величина отклонения в размерах отверстий по сравнению с исходными составляет 0,07–1,08% у уголкового профиля и 0,07–3,20% у швеллерных. В случае необходимости получения в гнутых профилях отверстий с высокой степенью точности их следует делать не в исходных заготовках, а в готовых профилях. Зона заметной деформации зерен распространялась от кромок отверстий на глубину 0,3–0,4 мм на заготовках всех исследуемых толщин. Измерение микротвердости в зоне пробитых отверстий показало, что на заготовках всех исследуемых толщин микротвердость на кромках отверстий значительно выше микротвердости исходного металла. При удалении от кромки отверстий всех перфорированных заготовок микротвердость уменьшается и на расстоянии 0,7–0,9 мм от кромки отверстий достигает значений, соответствующих микротвердости исходного металла.

Ключевые слова: профиль гнутый, перфорированный, отверстия, отклонения размеров, упрочнение металла.

Ю. О. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛУ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ПІДГІНАЮТЬСЯ НА ЯКІСТЬ ПЕРФОРОВАНИХ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ

Застосування гнутих перфорованих профілів в різних галузях промисловості дозволяє знизити витрати металу на 18–20%, прискорити складання і монтаж конструкцій, усунути зварювальні роботи при монтажі, зменшити трудомісткість монтажних робіт. Результати проведених досліджень показали, що зі збільшенням товщини полиць, що підгинаються, величина деформування отворів зростає. Так, при товщині полиць 2 мм відносне подовження отворів становило 0,07%, звуження – 0,21%, при товщині металу 5 мм деформування отворів становило 0,8% і 0,63%, відповідно. Деформування форми отворів збільшується зі зростанням кутів подгінання, товщини металу, зменшенням ширини полиць, що підгинаються, і величини перемички між отворами. Величина відхилення в розмірах отворів, в порівнянні з вихідними, становить 0,07–1,08% у кутових профілів і 0,07–3,20% у швелерних. У разі необхідності отримання в гнутих профілях отворів з високим ступенем точності їх слід робити не в вихідних заготовках, а в готових профілях. Зона помітної деформації зерен поширюється від крайок отворів на глибину 0,3–0,4 мм на заготовках усіх досліджуваних товщин. Вимірювання мікротвердості в зоні пробитих отворів показало, що на заготовках усіх досліджуваних товщин мікротвердість на крайках отворів значно вище мікротвердості вихідного металу. При віддаленні від кромки отворів всіх перфорованих заготовок мікротвердість зменшується і на відстані 0,7–0,9 мм від кромки отворів досягає значень, що відповідають мікротвердості вихідного металу.

Ключові слова: профіль гнутий, перфорований, отвори, відхилення розмірів, зміцнення металу.

YU. A. PLESNETSOV, G. M. SUCHKOV

RESEARCH OF THE EFFECT OF A DEFORMED STATE OF A METAL OF FLEXIBLE ELEMENTS ON THE QUALITY OF PERFORATED BORN PROFILES

The use of bent perforated profiles in various industries reduces the metal consumption by 18–20%, speeds up the assembly and installation of structures, eliminates welding work during installation, and reduces the labor intensity of installation work. The results of the studies showed that with an increase in the thickness of the bent shelves, the amount of deformation of the holes increases. Thus, with a shelf thickness of 2 mm, the relative elongation of the holes was 0.07%, the narrowing was 0.21%, and with a metal thickness of 5 mm, the deformation of the holes was 0.8% and 0.63%, respectively. The distortion of the shape of the holes increases with increasing bending angles, metal thickness, decreasing the width of the bend shelves and the size of the bridge between the holes. The deviation in the size of the holes compared to the original is 0.07–1.08% for corner profiles and 0.07–3.20% for channel bars. If it is necessary to obtain holes in bent profiles with a high degree of accuracy, they should be made not in the original blanks, but in the finished profiles. The zone of noticeable deformation of the grains spread from the edges of the holes to a depth of 0.3–0.4 mm on blanks of all thickness studied. Measurement of microhardness in the area of punched holes showed that the microhardness on the edges of the holes on the blanks of all investigated thicknesses is much higher than the microhardness of the original metal. With distance from the edge of the holes of all perforated blanks, the microhardness decreases and, at a distance of 0.7–0.9 mm from the edge of the holes, reaches values corresponding to the microhardness of the original metal.

Keywords: bent, perforated profile, holes, dimensional deviations, metal hardening.

Введение. Применение гнутых перфорированных профилей в различных отраслях промышленности позволяет снизить расход металла на 18–20%, ускорить сборку и монтаж конструкций, устранить сварочные работы при монтаже, уменьшить трудоемкость монтажных работ [1–15]. Сборка металлоконструкций из перфорированных профилей – это современная и рациональная система строительства. К гнутым перфорированным профилям относят профили, в которых имеются отверстия различной формы и размеров, нанесенные по всей длине профиля с определенным шагом (модулем) перфорации. Перфорированные профили, в

зависимости от их применения, подразделяются на две большие группы: профили для сборно-разборных конструкций; профили специального назначения. К первой группе относят перфорированные уголки и швеллеры, болтовое соединение которых в различных комбинациях позволяет получать металлоконструкции всевозможных видов и назначений. Важнейшими преимуществами перфорированных профилей этой группы являются их легкость, возможность быстрого монтажа без применения сварки, многократность использования одних и тех же профилей в сборно-разборных конструкциях различного назначения и др. Эти профили, являющиеся универсальным

строительным материалом, называют профилями быстрой сборки. Ко второй группе относят профили специальной формы, которые находят применение только в определенных конструкциях.

Актуальность выполненных исследований определяется отсутствием в Украине промышленного производства гнутых перфорированных профилей, а также значительной потребностью в этом виде металлопродукции различных отраслей экономики (свыше 100 тыс. т).

Цель работы – исследование формоизменения отверстий на элементах гнутых перфорированных профилей при их профилировании.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Проанализирована актуальность организации производства перфорированных профилей в Украине.

2. Выполнены исследования по влиянию отверстий на элементах профилей на пружинение полок и радиусы закруглений перфорированных профилей.

3. Выполнен анализ формы и размеров отверстий на перфорированных профилях.

4. Проведены исследования по влиянию на деформирование отверстий, расположенных на стенках профилей, условий расположения кромок отверстий от места изгиба.

5. Проведены исследования по влиянию на деформирование отверстий толщины и ширины подгибаемых полок, углов подгибки и величины перекрытия между отверстиями.

Основные методы исследования. При перфорации заготовок в результате пластической деформации металла у кромок пробитых отверстий происходит значительный наклеп металла. Для определения глубины наклепанного слоя исследовали микроструктуру металла в зоне пробитых отверстий и измеряли микротвердость металла. Для этого из перфорированных заготовок, а также из готовых профилей (уголков и швеллеров) вырезали образцы. Микроструктуру металла исследовали по сечению образцов (см. рис. 1). Микротвердость измеряли по длине образцов.

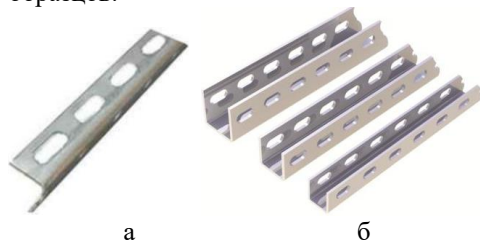


Рис. 1 – Перфорированные профили: а – уголки; б – швеллеры

Основные результаты исследований.

Влияния перфорации на механические свойства перфорированных заготовок. Проведенные исследования показали, что для всех толщин заготовок пробивка отверстий вызывает значительный наклеп металла. Степень деформации металла на кромках отверстий значительна, зерна настолько вытянуты вдоль действующей силы, что границы их почти незаметны. По мере удаления от кромки деформация металла уменьшалась, зерна оставались значительно вытянутыми, но их границы уже обозначились. Зона

заметной деформации зерен распространялась от кромок отверстий на глубину 0,3–0,4 мм на заготовках всех исследуемых толщин. Однако степень деформации металла на кромках отверстий различна на заготовках разной толщины – на кромках отверстий заготовки толщиной 4,0 мм зерна деформированы значительно больше, чем на заготовке толщиной 2,5 мм. Измерение микротвердости в зоне пробитых отверстий показало, что на заготовках всех исследуемых толщин микротвердость на кромках отверстий значительно выше микротвердости исходного металла. При удалении от кромки отверстий всех перфорированных заготовок микротвердость уменьшается и на расстоянии 0,7–0,9 мм от кромки отверстий достигает значений, соответствующих микротвердости исходного металла. Причем, максимальное уменьшение микротвердости происходит вблизи кромки на участке, удаленном от отверстия не более чем на 0,3 мм.

Влияния деформаций при пробивке отверстий на механические свойства перфорированных профилей. Для исследования влияния процесса профилирования на наклеп металла, возникающий при перфорации заготовок, изучали микроструктуру и измеряли микротвердость в зоне отверстий перфорированных профилей. В зоне отверстий перфорированных заготовок деформация металла значительна, по мере удаления от кромок отверстий деформация металла уменьшалась. Зона заметной деформации зерен металла распространялась от кромок отверстия на глубину 0,35–0,4 мм. Характер изменения микротвердости при удалении от отверстий на профилях такой же, как и на перфорированных заготовках (при удалении от отверстий микротвердость уменьшалась и достигала микротвердости исходного металла на расстоянии 0,5–0,8 мм). Наибольшая микротвердость наблюдалась на кромках отверстий, причем в профилях толщиной 3–4 мм, так же, как и в заготовках, упрочнение металла несколько больше, чем в профилях толщиной 2 мм. Таким образом, глубина наклепанного слоя на кромках отверстий готовых профилей осталась без изменения по сравнению с перфорированными заготовками.

Влияние толщины исходных заготовок. Известно, что с увеличением толщины профилируемых полос растягивающие деформации на кромках полос также увеличиваются. Это объясняется тем, что при большой толщине поперечная жесткость полосы возрастает, и, для перехода ее кромки из горизонтального положения в наклонное, необходимо прилагать большие усилия. С увеличением деформации продольных кромок претерпевают изменения и прилегающие к ним слои металла. Поэтому можно ожидать, что отверстия, имеющиеся в полках профилей различной толщины, будут деформироваться по-разному. Для исследования влияния толщины заготовки на величину изменения размеров отверстий профилировали уголки 45x45 мм с толщиной стенки 2 мм, 3 мм, 4 мм и 5 мм. Результаты проведенных исследований показали, что с увеличением толщины подгибаемых полок величина деформирования отверстий возрастает. Минимальному деформированию подвергались

отверстия в полках уголков толщиной 2 мм, максимальному – толщиной 5 мм. Так, при толщине полок 2 мм относительное удлинение отверстий составляло 0,07%, сужение – 0,21%. При толщине металла 5 мм деформирование отверстий возросло в несколько раз и составляло 0,8% и 0,63%, соответственно.

Влияние ширины подгибаемых элементов.

Ширина подгибаемых элементов профиля оказывает существенное влияние на величину продольной деформации кромок. Исследованиями установлено, что у швеллеров с различной шириной полок наибольшая продольная деформация наблюдалась на кромках тех швеллеров, которые имеют минимальные ширины. С увеличением ширины подгибаемых полок величина продольной деформации кромок уменьшается. Для определения влияния ширины подгибаемых полок на величину формоизменения отверстий профилировали разнобокие уголки с шириной полок 45 мм, 60 мм и 80 мм. Обработки результатов измерений отверстий до и после профилирования показала, что наибольшему деформированию подвергались отверстия, расположенные на полках шириной 45 мм, наименьшему – на полках уголков с шириной полок 80 мм (рис. 2).

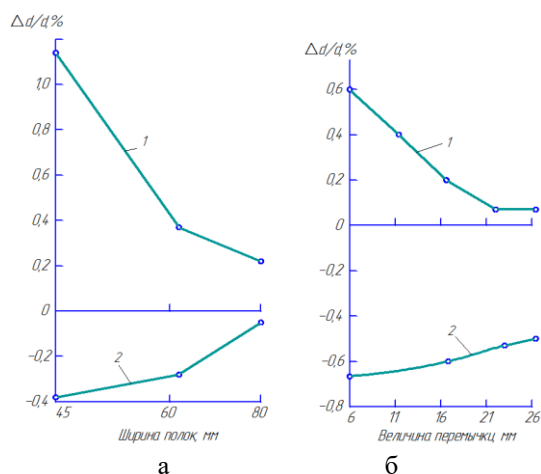


Рис. 2 – Относительное изменение размера отверстий $\frac{\Delta d}{d}$ в процессе профилирования: 1 – растяжение; 2 – сужение; в зависимости от: а – ширины подгибаемых полок; б – величины перемычки между отверстиями

Так, относительное удлинение отверстий на полках шириной 45 мм составляло 1,08%, сужение – 0,38%. На полках шириной 80 мм эти величины составляли 0,22% и 0,05%, соответственно. Увеличение в несколько раз деформирования отверстий на уголках с шириной полок 45 мм по сравнению с деформированием отверстия на полках с уголка с шириной 80 мм является результатом увеличения продольной деформации кромок и прилегающих к ним слоев в процессе профилирования, т.е. наблюдается полное совпадение деформирования

отверстий с общей деформацией металла подгибаемых элементов.

Формоизменение полосы и деформированное состояние металла при профилировании. Ввиду недостаточной изученности процесса профилирования перфорированных полос проведены экспериментальные исследования очага деформации при профилировании. Для определения формы и размеров формуемой полосы (без снятия упругой деформации после ее извлечения из валков) был применен метод слепков. Профилируемую полосу затормаживали в валках стана. Затем определяли и фиксировали положение полосы относительно валков. Замеры слепков полос перфорированного и неперфорированного уголка 45х45х2 мм показали, что плоские подгибаемые элементы профиля (полки) в процессе формоизменения сохраняют прямолинейность в поперечных сечениях. На рис. 3 приведены графики изменения углов подгибки вдоль полосы при профилировании перфорированных и неперфорированных уголков 45х45х2 мм. Полосы затормаживали в момент установившегося процесса формовки в валках (очаг деформации при этом приобретал постоянную форму и граничил с уже отформованными участками полосы). Из анализа положения очагов деформации формуемой полосы относительно валков следует, что их осевые плоскости проходили внутри очагов деформации. Это объясняется влиянием формуемого в валках металла полосы на формоизменение смежных участков профиля. Формоизменению при этом подвергаются, как участок полосы, не вошедший в контакт с валками, так и участок, вышедший из контактной зоны. Как следует из графиков (рис. 3), при профилировании перфорированных и неперфорированных уголков протяженность участков очага деформации при формовке перфорированных и неперфорированных уголков составляла примерно 240 мм, то есть величина очага деформации не менялась. Изменение углов подгибки вдоль очага деформации происходило неравномерно – до осевой плоскости валков более интенсивно, чем после осевой плоскости.

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают, что очаг деформации распространяется не на все межклетьеовое расстояние, а имеет длину меньшую, чем межклетьеовое расстояние. Следует при этом отметить, что наличие перфорации в полосах способствует увеличению углов подгибки полок, о чем свидетельствуют графики, приведенные на рис. 3. Исследование деформации металла при профилировании производили с помощью делительных сеток, наносимых на поверхность заготовок. Характер и величину конечного пластического деформирования устанавливали по изменениям размеров деформированной сетки. Измерение расстояний между рисками сетки производили на вырезанных из полосы темплетях шириной 20 мм (рис. 4).

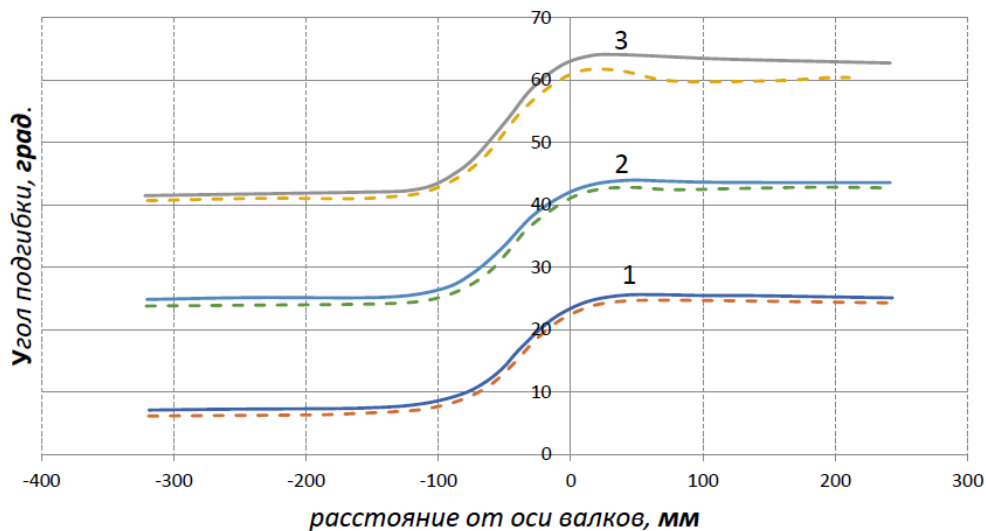


Рис. 3 – Изменение углов подгибки вдоль полосы в очагах деформации при формовке уголков 45х45х2 мм из перфорированной (сплошная линия) и неперфорированной (штриховая) полосы: 1 – в третьей клетки; 2 – в четвертой клетки; 3 – в пятой клетки

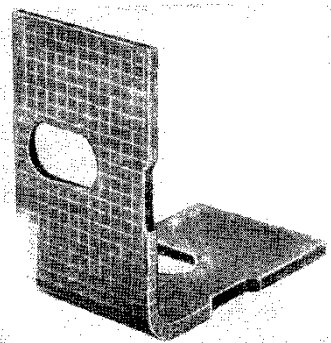


Рис. 4 – Темплет, вырезанный из готового профиля, для определения деформации металла

Относительную деформацию металла определяли по формуле:

$$\delta = \frac{a_1 - a}{a} \cdot 100,$$

где a_1 и a – расстояние между рисками до и после деформации, соответственно, мм.

Относительное утонение ΔS определяли по формуле:

$$\Delta S = \frac{s - s_0}{s} \cdot 100,$$

где S и S_0 – толщины профилированной и исходной полосы, соответственно, мм.

На рис. 5 представлена диаграмма распределения утонения, построенная относительно контура профиля. Как следует из графика, утонение металла происходит в местах изгиба и распространяется на смежные плоские элементы профиля. Толщина полок на большей части остается постоянной. Распределение утонения по ширине участка изгиба неравномерно. Максимальное утонение ($\Delta S_{\max}=6\%$) имеет место в середине участка изгиба и по мере удаления от него уменьшается. Утонение в местах сопряжения полки профиля с участком изгиба составляет примерно 2,5%. Утонение распространяется на 3–5 мм на прямолинейные элементы профиля. На рис. 5 приведен график относительной деформации крайних волокон металла по наружной поверхности уголка. На наружной поверхности профиля металл растянут. Максимальная деформация растяжения волокон (40%) наблюдалась в середине участка изгиба.

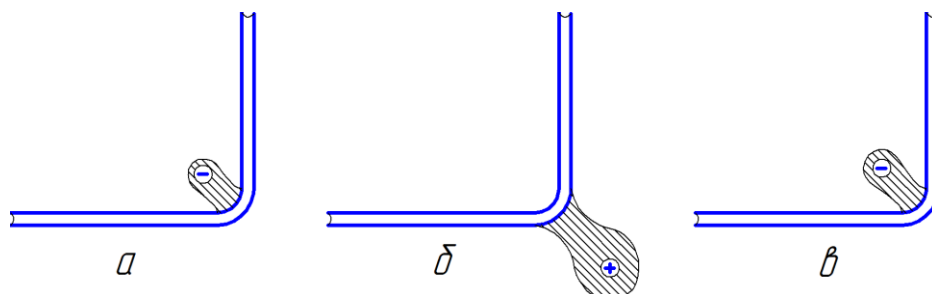


Рис. 5 – Диаграммы распределения: а – относительного утонения полосы; б – деформации в поперечном направлении по наружному контуру сечения готового профиля; в – деформации в поперечном направлении по внутреннему контуру сечения готового профиля

Распределение деформаций по ширине контура неравномерно и по своему характеру аналогично распределению утонения. На большей части ширины, а также в местах перфорации деформация по

(наружному контуру сечения) не наблюдалась. Из анализа характера деформации на внутренней поверхности профиля следует, что в поперечном направлении металл полосы сжат. Максимальная

деформация сжатия (30%) наблюдалась на середине участка изгиба. Распределение деформации по ширине контура по своему характеру аналогично распределению утонения и деформации растяжения волокон на внешней поверхности профиля. На большей части ширины полки деформация по внутреннему контуру сечения не наблюдалась. В местах сопряжения участка изгиба с полкой поперечная деформация сжатия составляла 5–7%. Деформация распространялась на прямолинейные элементы профиля примерно на 3–5 мм по ширине от мест сопряжения. В местах сопряжения участка изгиба с плоскими элементами профиля деформация растяжения составляла 3–5%. Деформация распространялась на прямолинейные элементы профиля примерно на 3–5 мм по ширине от места сопряжения. Следовательно, наиболее деформированными в поперечном направлении участками профиля являются места изгиба. Максимальная величина деформации растяжения на наружной поверхности профиля больше деформации сжатия на внутренней поверхности в 1,3 раза.

Выводы

1. Результаты проведенных исследований показали, что с увеличением толщины подгибаемых полок величина деформирования отверстий возрастает. Так, при толщине полок 2 мм относительное удлинение отверстий составляло 0,07%, сужение – 0,21%, при толщине металла 5 мм деформирование отверстий составляло 0,8% и 0,63%, соответственно.

2. Отклонения в размерах отверстий увеличиваются с возрастанием углов подгибки, толщины металла, уменьшением ширины подгибаемых полок и величинами перемычки между отверстиями. Величина отклонения в размерах отверстий по сравнению с исходными составляет 0,07–1,08% у уголкового профиля и 0,07–3,20% у швеллерных.

3. В случае необходимости получения в гнутых профилях отверстий с высокой степенью точности их следует делать не в исходных заготовках, а в готовых профилях.

Список литературы

1. Flos. A. Simulation technologisch bedingter verformungsabläufe der Blechumformung auf der Barisder Fließtheorie // Mitt. Inst.Mech. Ruhr Univ, Bochum. – 1994. – No 3. – P.135–138.
2. Raftoyiannis I.G. Deflection of Castellated beams under Transverse Loading / I.G. Raftoyiannis, G.I. Ioannidis // Steel Structures – 2006 – No 6. – P.31–36.
3. Redwood R. Castellated Beam Web Buckling in Shear / R. Redwood, S. Demirdjian // Journal of Structural Engineering. – 1998. – vol. 124 – No 10. – P. 1202–1207.
4. Tsavdaridis K.D. Experimental and computational study of the vertical shear behaviour of partially encased perforated steel beams / K.D. Tsavdaridis, C. D'Mello, B.Y. Huo // Engineering Structures. – 2013. – No 56. – P. 805–822.
5. Tsavdaridis, K.D. Vierendeel bending study of perforated steel beams with various novel web opening shapes through nonlinear finite-element analyses / K.D. Tsavdaridis, C. D'Mello // Journal of Structural Engineering. – 2012. – No 138 (10). – P. 1214–1230.
6. Tsavdaridis, K.D. Web buckling study of the behaviour and strength of perforated steel beams with different novel opening shapes / K.D. Tsavdaridis, C. D'Mello // Journal of Constructional Steel Research. – 2011. – No 67 (15). – P. 1605–1620.

7. Гайджуров П.П., Кожихов А.Г. Конечно-элементный расчет стальной регулярно перфорированной двутавровой стойки // Строительная механика и расчет сооружений. – 2006. – № 4. – С. 52–57.
8. Кожихов А.Г. Численные и экспериментальные исследования работы внецентрично сжатых перфорированных стоек. // Вестник Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. – 2008 – Вып. 10 (29). – С. 19–24.
9. Кожихов А.Г., Бузало Н.А., Гайджуров П.П. Совершенствование технологии изготовления стальных перфорированных стержней // Проблемы и перспективы развития жилищ-комму. комплекса города: 6-я Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 1-4 апр. 2008 г. – Москва, 2008. – Т.2. – С. 100–102.
10. Пат. 66763 Рос. Федерация, МПК E04C 3/32. Перфорированная двухветвевая стойка / Кожихов А.Г., Бузало Н.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ЮРГТУ(НПИ). – № 2007111327/22; заявл. 27.03.2007; опубл. 27.09.2007, Бюл. №27.
11. Пат. 68551 Рос. Федерация, МПК E04C 2/00. Перфорированная балка с гофрированными вставками / Кожихов А.Г., Бузало Н.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ЮРГТУ(НПИ). – № 2007130208/22; заявл. 06.08.2007; опубл. 27.11.2007, Бюл. № 33.
12. Пат. 70527 Рос. Федерация, МПК E04C 2/00. Перфорированная двухветвевая стойка со вставками / Кожихов А.Г., Бузало Н.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ЮРГТУ(НПИ). – № 2007130232/22; заявл. 06.08.2007; опубл. 27.01.2008, Бюл. № 3.
13. Пат. 70911 Рос. Федерация, МПК E04C 3/08. Перфорированная двухветвевая стойка с гофрированными вставками / Кожихов А.Г., Бузало Н.А., Гайджуров П.П.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ЮРГТУ(НПИ). – № 2007130643/22; заявл. 10.08.2007; опубл. 20.02.2008, Бюл. № 5.
14. Притыкин А.И. Технология изготовления одноярусно и многоярусно перфорированных балок / А.И. Притыкин // Вестник МГСУ. – 2009. – № 2 – С. 22–26.
15. Рекомендации по проектированию и применению балок с перфорированной стенкой / ЦНИИПроектстальконструкция. – Москва, 1991. – 76 с.

References (transliterated)

1. Flos. A. Simulation technologisch bedingter verformungsabläufe der Blechumformung auf der Barisder Fließtheorie // Mitt. Inst.Mech. Ruhr Univ, Bochum. – 1994. – No 3. – P. 135–138.
2. Raftoyiannis I.G. Deflection of Castellated beams under Transverse Loading / I.G. Raftoyiannis, G.I. Ioannidis // Steel Structures – 2006 – No 6. – P. 31–36.
3. Redwood R. Castellated Beam Web Buckling in Shear / R. Redwood, S. Demirdjian // Journal of Structural Engineering. – 1998. – Vol. 124 – No 10. – P. 1202–1207.
4. Tsavdaridis K.D. Experimental and computational study of the vertical shear behaviour of partially encased perforated steel beams / K.D. Tsavdaridis, C. D'Mello, B.Y. Huo // Engineering Structures. – 2013. – No 56. – P. 805–822.
5. Tsavdaridis, K.D. Vierendeel bending study of perforated steel beams with various novel web opening shapes through nonlinear finite-element analyses / K.D. Tsavdaridis, C. D'Mello // Journal of Structural Engineering. – 2012. – No 138 (10). – P. 1214–1230.
6. Tsavdaridis, K.D. Web buckling study of the behaviour and strength of perforated steel beams with different novel opening shapes / K.D. Tsavdaridis, C. D'Mello // Journal of Constructional Steel Research. – 2011. – No 67 (15). – P. 1605–1620.
7. Gaydzheurov P.P., Kozhikhov A.G. Konechno-elementnyy raschet stal'noy regul'arno perforirovannoy dvutavrovoy stoyki // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2006. – No 4. – P. 52–57.
8. Kozhikhov A.G. Chislennyye i eksperimental'nyye issledovaniya raboty vnetsentrenno szhatykh perforirovannykh stoyek. // Vestnik Volgograd. gos. arkhitekturno-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2008 – No. 10 (29). – P. 19–24.
9. Kozhikhov A.G., Buzalo N.A., Gaydzheurov P.P. Sovershenstvovaniye tekhnologii izgotovleniya stal'nykh perforirovannykh sterzhney // Problemy i perspektivy razvitiya zhilishch-kommun. kompleksa goroda: 6-ya Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Moscow, 1-4 apr. 2008. – Moscow, 2008. – Vol. 2. – P. 100–102.
10. Pat. 66763 Ros. Federatsiya, MPK E04S 3/32. Perforirovannaya dvukhvetevaya stoyka / Kozhikhov A.G., Buzalo N.A.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO YURGTU(NPI). – No 2007111327/22; zayavl. 27.03.2007; opubl. 27.09.2007, Byul. No 27.

11. Pat. 68551 Ros. Federatsiya, MPK E04S 2/00. Perforirovannaya balka s gofrirovannymi vstavkami / Kozhikhov A.G., Buzalo N.A.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO YURGTU(NPI). – No 2007130208/22; zayavl. 06.08.2007; opubl. 27.11.2007, Byul. №33.
12. Pat. 70527 Ros. Federatsiya, MPK E04S 2/00. Perforirovannaya dvukhvetevaya stoyka so vstavkami / Kozhikhov A.G., Buzalo N.A.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO YURGTU(NPI). – No 2007130232/22; zayavl. 06.08.2007; opubl. 27.01.2008, Byul. №3
13. Pat. 70911 Ros. Federatsiya, MPK E04S 3/08. Perforirovannaya dvukhvetevaya stoyka s gofrirovannymi vstavkami / Kozhikhov A.G., Buzalo N.A., Gaydzhurov P.P.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO YURGTU(NPI). – No 2007130643/22; zayavl. 10.08.2007; opubl. 20.02.2008, Byul. No 5.
14. Pritykin A.I. Tekhnologiya izgotovleniya odnoryadno i mnogoryadno perforirovannykh balok / A.I. Pritykin // Vestnik MGSU. – 2009. – No 2 – P. 22-26.
15. Rekomendatsii po proyektirovaniyu i primeneniyu balok s perforirovannoy stenкой / TSNIIProyektstal'konstruktsiya. – Moscow, 1991. – 76 p.

Поступила (received) 25.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Плеснецов Юрий Александрович (Плеснецов Юрий Александрович, Plesnetsov Yuriy Aleksandrovich) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри «Обработка металлов давлением», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: plesnetsov@gmail.com

Сучков Григорий Михайлович (Сучков Григорий Михайлович, Suchkov Hrigoriy Mihailovich) – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри «Комп'ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: hpi.suchkov@gmail.com